

Применение рассмотренных выше энергосберегающих решений повышает экологичность строительного объекта, делая его более независимым от энергии, произведенной с загрязнением окружающей среды.

Список использованных источников

1. Сайт газеты «Литер»: <http://liter.kz/>.
2. [электронный ресурс]. URL: <http://astana.gov.kz/ru/modules/material/3136>.

УДК 519.6

АНАЛИЗ МЕТОДОВ СЕРООЧИСТКИ В ПГУ С ВЦГ

ANALYSING METHODS OF DESULFURIZATION IN IGCC

Лабинцев Е. С., Тупоногов В. Г., Грицук С. А.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, egor.labintsev@mail.ru

Labintsev E. S., Tuponogov V. G., Gritzuk S. A.

Ural Federal University, Ekaterinburg

Аннотация: В работе проанализированы современные методы очистки синтез-газа от серосодержащих примесей с использованием горячей сероочистки.

Abstract: This paper analyzes the modern methods of purification of the synthesis gas from the sulfur-containing impurities using hot desulfurization.

Ключевые слова: *газификация; сероочистка; парогазовые установки; синтез-газ; очистка газа; псевдооживление.*

Key words: *gasification; desulfurization; combined-cycle plants; synthesis gas, gas cleaning; fluidization.*

Твердое топливо, подвергаемое газификации, содержит вредные примеси (загрязнители), которые в виде твердых частиц и паровой фазы переходят в состав получаемого синтез-газа. Типичные уровни примесей в исходном топливе, включая уголь, представлены в таблице [1].

Для исключения эрозии лопаток газовых турбин, отложений на поверхностях, коррозии материалов оборудования [2, 3], а также токсического воздействия на используемые катализаторы и сорбенты в схемах ПГУ-ВЦГ предусматривается очистка угольного синтез-газа от твердых частиц, нитросодержащих примесей, хлоридов, щелочных металлов и серы. По температурному уровню процессы газоочистки делят на холодную – CGC (*cold*

gas cleanup), осуществляемую как при положительных температурах (как правило ниже температуры конденсации водяных паров), так и отрицательных (например, при $-62\text{ }^{\circ}\text{C}$ для охлажденного метанола, используемого при удалении кислых газов) [4], горячую – *HGC (hot gas cleanup)* в интервалах от $300\text{--}400\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше в зависимости от вида удаляемого компонента. При построении многоступенчатой схемы газоочистки, как и во всей схеме ПГУ, термодинамически выгодно не снижать температуру газа в каком-либо элементе схемы ниже температуры процесса в следующем элементе. Поэтому повышение температурного уровня газоочистки (в идеале – до температуры на выходе из газогенератора) и сокращение ступеней охлаждения–нагрева в системе повышает термодинамическую эффективность цикла, поскольку снижаются потери эксергии рабочего тела и потери располагаемой теплоты в теплообменном оборудовании.

Процентный состав примесей в сырье [1]

Вид загрязнения	Древесина	Солома	Уголь
	(за вычетом влаги; процентов по массе)		
Сера	0,01	0,2	0,1-5
Азот	0,25	0,7	1,5
Хлор	0,03	0,5	0,12
Зола (основные компоненты)	1,33	7,8	9,5
K_2O	0,04	2,2	1,5
SiO_2	0,08	3,4	2,3
Cl	0,001	0,5	0,1
P_2O_5	0,02	0,2	0,1

Соединения серы в синтез-газе содержатся в основном в виде сероводорода H_2S и в небольших количествах как карбонил сульфид COS. Концентрация сероводорода в газе может составлять от 0,1 мл/л до значения более чем 30 мл/л в зависимости от газифицируемого топлива [1]. Процесс холодной газоочистки является хорошо изученным вариантом очистки синтез-газа от сернистых соединений с применением жидких сорбентов – растворителей метилдиэтанолламин (*MDEA*), моноэтанолламин (*MEA*), диэтанолламин (*DEA*) и других. В процессе сероудаления происходит глубокое охлаждение синтез-газа до уровня комнатных температур в $25\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$, снижающее термодинамическую эффективность цикла ПГУ. В свою очередь, сероочистка при повышенных температурах не имеет недостатков холодной газоочистки, связанных с глубоким охлаждением сырого синтез-газа, наличием грязных потоков и длинной технологической цепочкой.

В современных схемах сероочистки ПГУ-ВЦГ применяются регенерируемые сорбенты, допускающие многократную реверсивную адсорбцию серы из сероводорода синтез-газа. Исследования показали [5], что в

большей степени требованиям к сорбентам высокотемпературной десульфудизации и минимизации свободной энергии реакций соответствуют оксиды металлов, среди которых определены семь наиболее перспективных – оксиды металлов Zn, Fe, Cu, Mn, Mo, V, Co [6]. Максимальная рабочая температура для оксидов цинка составляет 650 °С, меди и железа – 700 °С, марганца – до 1000 °С [1, 7]. Наилучшими термодинамическими и эксплуатационными характеристиками обладают сорбенты на основе ZnO, имеющие уровень рабочих температур 400–650 °С, сероемкость больше 300 г/кг и степень очистки от H₂S при 650 °С до 7 мкл/л [6]. Одной из наиболее перспективных является схема очистки синтез-газа от H₂S с реакторами циркуляционного кипящего слоя (ЦКС) под давлением, в которой использованы преимущества аппаратов с кипящим слоем, включающие высокие тепломассообменные характеристики, регулируемость параметров и повышенную производительность.

На рисунке представлен принцип процесса горячей сероочистки, разрабатываемый RTI (*Research Triangle Institute*) [8]. Сырой синтез-газ поступает в адсорбер ЦКС, где очищается от серы, взаимодействуя с циркулирующими частицами ZnO сорбента. Из адсорбера сульфидизированный сорбент отводится во второй реактор с ЦКС и регенератор на восстановление воздухом, затем вновь возвращается в адсорбер.



Процесс горячей газоочистки RTI [8]

В исследованиях систем горячей сероочистки (HGC) рассматривается эффективность предлагаемых схем по сравнению с уже существующими в ПГУ-

ВЦГ со стандартными схемами холодной сероочистки (*CGD*). Из расчетов [7] следует, что при переходе от *CGD* к *HGD* КПД ПГУ-ВЦГ нетто электрический повышается на 2,5 процентных пункта и превышает 50 %.

Список использованных источников

1. Woolcock P. J., Brown R. C. A review of cleaning technologies for biomass-derived syngas / P. J. Woolcock, R. C. Brown // Biomass and Bioenergy. 2013. Vol. 52. P. 54-84.
2. Newby R. A. Fuel gas cleanup parameters in air-blown IGCC / R. A. Newby, W. C. Yang, R. L. Bannister, J. Eng // Gas Turbines Power. 2000. Vol. 122 (2). P. 247-254.
3. Stiegel G. J. Gasification technologies: the path to clean, affordable energy in the 21st century / G. J. Stiegel., R. C. Maxwell // Fuel Process. Technol. 2001. Vol. 71 (1-3). P. 79-97.
4. Korens N. Process screening analysis of alternative gas treating sulfur removal for gasification / N. Korens, D. R. Simbeck, D. J. Wilhelm // Revised final report. 2002.
5. Giuffrida A. On the effects clean-up temperature in IGCCs / A. Giuffrida, M. C. Romano // Proceedings of ASME Turbo Expo 2010. Power for Land, Sea and Air (CT 2010). June 14-18. 2010. Glasgow, UK.
6. Vamvuka D. Flue gas desulfurization at high temperatures: a review / D. Vamvuka, C. Arvanitidis // Environ. Eng. Sci. 2004. Vol. 21 (4). P. 229-268.
7. Giuffrida A. Thermodynamic analysis of air-blown gasification for IGCC applications / A. Giuffrida, M. Romano, G. Lozza // Applied Energy. 2011. Vol. 88. P. 3949-3958.
8. RTI Warm Syngas Cleanup Technology Demonstration // 8-th International Freiberg Conference on IGCC & Xtl Technologies. Freiberg. Germany. June 13, 2016.

УДК 662.74

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДА ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ В ПРОЦЕССЕ ПИРОЛИЗА КАМЕННОГО УГЛЯ В ИНЕРТНОЙ СРЕДЕ

STUDY OF DEVOLATILIZATION OF BITUMINOUS COAL IN INERT ATMOSPHERE

Лазебный И. П., Осипов П. В., Рыжков А. Ф.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, anteymaster1@mail.ru

Lazebny I. P., Osipov P. V., Ryzhkov A. F.
Ural Federal University, Ekaterinburg